

УДК 656.072.2

Г.О. Самчук

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна*

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ЧАСУ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У МІСЬКИХ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНИХ ВУЗЛАХ

У статті представлено підхід до встановлення часу обслуговування транспортних засобів у транспортно-пересадочних вузлах за критерієм вартісної оцінки часових витрат учасників пересадочного процесу, який розглядається як етап синхронізації розкладів руху. За результатами імітаційного експерименту отримано регресійні моделі визначення часу очікування пасажирів при пересадці для формалізації функціональної залежності критерію від часу обслуговування.

**Ключові слова:** транспортно-пересадочний вузол, час обслуговування, час очікування, імітаційний експеримент, регресія.

### Постановка проблеми

У фокусі сучасних досліджень знаходяться задачі, пов'язані із забезпеченням сталої міської мобільності, серед яких значне місце займає створення інтегрованих пасажирських транспортних систем. Сполучення громадського пасажирського транспорту відбувається на базі транспортно-пересадочних вузлів (ТПВ), що обумовлює важливість їх розвитку. Однак недосконалість технічної та технологічної форм взаємодії призводить до значного часу очікування при пересадці пасажирів та виникнення, непродуктивних простоїв, підвищення тривалості знаходження транспортних засобів у ТПВ, при цьому збільшується навантаження на докілья та знижується безпека виконання транспортних підпроцесів.

Технічним рішенням, що дозволить оптимізувати виконання технологічних операцій, є визначення кількості постів обслуговування на зупиночних пунктах ТПВ, що забезпечить покращення основних соціально-економічних показників, при раціональному використанні земельних ресурсів міста. Але першочерговими завданнями можливо визначити ті, що дозволяють досягти сталої функціонування ТПВ за рахунок технологічних рішень. Зменшення часу очікування пасажирів у ТПВ досягається при створенні синхронізованого розкладу руху транспортних засобів міського пасажирського транспорту (МПТ), разом з тим скоординоване прибуття транспортних засобів на зупиночні пункти дозволить уникнути їх скупчення.

Для реалізації ефективного пересадочного процесу окрім зменшення часу відправлення з

початкового пункту з метою синхронізації руху у розклад закладається додатковий час, що штучно подовжує тривалість обслуговування на зупиночному пункті. Оскільки транспортний процес має стохастичну природу зазначений захід дозволяє частково нівелювати відхилення від розкладу та підвищити ймовірність реалізації пересадки між парою транспортних засобів МПТ.

Визначення та обґрунтування величини необхідного додаткового часу обслуговування транспортних засобів на зупиночному пункті вимагає проведення імітаційного експерименту та обумовлює актуальність дослідження.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання узгодження розкладів руху МПТ у своїх роботах розкривають як зарубіжні, так і українські науковці [1-5], враховуючи різні аспекти проблеми та підходи. У публікації [3] представляється оптимізаційний метод для поліпшення якості пересадки пасажирів за рахунок приближення часу очікування до «зручного» при внесенні змін в існуючий розклад. У роботі [4] використовується генетичний алгоритм при мінімізації часу очікування пересадки, задача багатокритеріальної оптимізації розглянута в [5].

При складанні синхронізованих розкладів руху додатковий час обслуговування закладається як на стадії планування, так і оперативно. Дослідження [6-7] спрямовані на оптимізацію додаткового часу, що закладається у розклад, але автори не розглядали випадкові величини, що характеризують тривалість виконання технологічних підпроцесів. Автори [8] досліджують стратегію, при якій проводиться синхронізація в режимі реального часу шляхом затримки відправлення. Але така технологія

потребує оснащення транспортних засобів системами відстеження місцезнаходження і отримання он-лайн інформації та програмних комплексів для проведення розрахунків щодо прогнозування прибуття на зупиночний пункт. Стохастичну модель частково цілочислового програмування для робасної схеми координації розкладу на планувальному й оперативному етапах запропонували Wu і ін. [9].

Проведений аналіз літературних джерел показав, що сучасні моделі та підходи до синхронізації розкладу мають певні недоліки та потребують подальшого удосконалення.

### Формулювання мети статті

**Мета дослідження:** визначити раціональні значення часу обслуговування транспортних засобів на зупиночних пунктах ТПВ. Для досягнення мети необхідно виконати наступні задачі:

- розробити методику обґрунтування параметрів взаємодії пасажирського транспорту у міських ТПВ;
- встановити закономірності впливу параметрів функціонування МПТ на час очікування пасажирів при пересадці;
- визначити функціональний зв'язок між критерієм ефективності і тривалістю обслуговування транспортних засобів на зупиночних пунктах у ТПВ.

### Виклад основного матеріалу

При виборі параметрів взаємодії пасажирського транспорту у ТПВ з метою підвищення ефективності функціонування враховуються інтереси пасажирів та МПТ, а рішення про значення вхідних параметрів приймається у відповідності із критерієм загальної вартісної оцінки витрат часу пасажирів ( $C_P$ ) та МПТ ( $C_V$ ) у ТПВ, мінімальне значення якого характеризує найкращу альтернативу. Для цього вирішуються наступні задачі:

- узгодження розкладів руху (встановлення часу відправлення з початкового зупиночного пункту ( $td$ ) для визначених вхідних даних);
- вибір часу обслуговування ( $ts$ ) у ТПВ;
- обґрунтування необхідної кількості постів ( $L$ ) одночасного обслуговування транспортних засобів на зупиночному пункті.

Задача узгодження розкладів руху є обов'язковим етапом і виконується кожен раз при зміні інших вхідних факторів, тобто часу обслуговування та кількості постів обслуговування. Так, встановлення часу відправлення з початкового зупиночного пункту  $N_R$  маршрутів та визначення часу обслуговування проводиться для певної кількості постів на зупиночному пункті. Якщо

необхідно обґрунтувати їх кількість, розв'язується множина задач комбінаторної оптимізації  $\Phi_k : k \in 1 \dots N_L$ , де  $k$  – індекс кількості постів одночасного обслуговування на зупиночному пункті, для якого проводиться дослідження. У випадку відсутності необхідності або можливості змінювати кількість постів одночасного обслуговування індексом можна знехтувати.

Кожен компонент критерію містить змінну: вартісна оцінка часу знаходження транспортних засобів у ТПВ та очікування пасажирів, що дозволяє трансформувати часові витрати у грошовий еквівалент. Оскільки обрані складові є функцією від випадкових величин: часу очікування у черзі та часу обслуговування для витрат МПТ і часу очікування при пересадці для пасажирів, кожен з них є випадковою величиною, отже необхідно оптимізувати їх математичне очікування. Цільову функцію визначимо наступним чином:

$$\Phi_k : C_k = C_V(\bar{x}) + C_P(\bar{x}) \rightarrow \min_{\bar{x} \in \Omega_k}, \quad (1)$$

$$\Omega_k : \begin{cases} tq(\bar{x}_k) \leq tq'; \\ N_{KT}(\bar{x}_k) \leq N'_{KT}; \\ td_i^{(1)} \leq td'_i < td_i^{(1)} + I_i; \\ td_i^{(1)}, td_i^{(B_i)} \in \tau_S; \tau_E; \\ L = k, \end{cases}$$

де  $C_k$  – вартісна оцінка негативного впливу функціонування ТПВ при кількості постів обслуговування на зупиночному пункті  $k$ ;

$C_V(\bar{x})$  – математичне очікування витрат під час знаходження транспортних засобів у ТПВ, грн;

$C_P(\bar{x})$  – математичне очікування грошового еквіваленту витрат пасажирів на очікування пересадки у ТПВ, грн;

$tq, tq'$  – розрахункове та граничне значення часу очікування у черзі;

$N_{KT}, N'_{KT}$  – розрахункове та граничне значення кількості конфліктів між транспортними засобами на зупиночному пункті у ТПВ;

$td_i^{(1)}$  – час відправлення першого транспортного засобу  $i$ -го маршруту з початкового зупиночного пункту;

$td'_i$  – змінений час відправлення першого транспортного засобу  $i$ -го маршруту з початкового зупиночного пункту;

$td_i^{(B_i)}$  – час відправлення останнього транспортного засобу  $i$ -го маршруту з початкового зупиночного пункту за розрахунковий період;

$\tau_S; \tau_E$  – початок та кінець розрахункового періоду, відповідно;

$B_i$  – кількість транспортних засобів  $i$ -го маршруту, що прибувають у ТПВ;

$I_i$  – інтервал на  $i$ -му маршруті;

$N_L$  – максимальна кількість постів одночасного обслуговування транспортних засобів на зупиночному пункті.

Вектор керуючих змінних відповідно

$$x_k = td'_1, td'_2 \dots td'_{N_R}; ts'_1, ts'_2 \dots ts'_{N_R}; k$$

Непродуктивний простій, до якого відноситься час очікування транспортних засобів у черзі перед зупиночним пунктом призводить до викидів забруднюючих речовин, тому для врахування екологічної складової вводиться обмеження на цей показник. Крім того критерій передбачає введення обмеження на кількість конфліктів між транспортними засобами для двох і більше постів одночасного обслуговування.

Вирішення задачі проводиться у два етапи. Перший етап – виявлення значень вектору вхідних даних, при якому обраний критерій ефективності досягне свого мінімуму. Розрахунок проводиться для кожної кількості постів одночасного обслуговування на зупиночному пункті, що досліджується. На другому етапі формується таблиця альтернатив у відповідності до кількості постів одночасного обслуговування транспортних засобів на зупиночному пункті, за якою особа, що приймає рішення, визначає остаточні параметри функціонування ТПВ.

Таким чином вирішуються проблеми комплексно, або окремо, приймаючи до уваги умови та специфіку функціонування ТПВ у кожному випадку. Наприклад, мінімізувати тільки витрати МПТ шляхом узгодження їх руху та вибору кількості постів обслуговування, або вирішувати задачу синхронізації розкладу руху та вибору значень вхідних параметрів, що забезпечать мінімальний час очікування пасажирів у ТПВ при пересадці.

Для дослідження ТПВ як складної стохастичної системи сформована імітаційна модель їх функціонування [10]. Оцінка результуючих параметрів (час очікування у черзі транспортних засобів та час очікування пасажирів) не може бути виконана на практиці без використання комп'ютерного моделювання. Реалізація моделі на рівні окремого ТПВ здійснена із використанням мови програмування Python. Випадкова величина тривалості обслуговування транспортних засобів розподілена за гамма-законом, а час руху до ТПВ за нормальним. Метод узгодження руху транспортних засобів МПТ на зупиночних пунктах ТПВ описаний у [11].

Пересадки пасажирів у ТПВ здійснюються між транспортними засобами певної пари маршрутів. У рамках досліджуваної задачі у якості допущення визначено, що кількість постів обслуговування забезпечує стабільність функціонування зупиночних пунктів. Пошук рішення виконується за обмеження на час очікування (прийнято 10 с. за період моделювання).

Очевидно, що для МПТ витрати зростатимуть лінійно із збільшенням часу обслуговування у ТПВ. Час очікування для одного пасажирів, що здійснює пересадку між однією парою транспортних засобів маршрутів  $i$ - $j$ , розраховується за наступною залежністю:

$$\tilde{t}_{ij}^{bd} = \tilde{M}b^d - Ma_i^b - tw_{ij}, \quad (2)$$

де  $\tilde{t}_{ij}^{bd}$  – час очікування для одного пасажирів;

$\tilde{M}b^d$  – момент посадки пасажирів у  $d$ -й транспортний засіб  $j$ -го маршруту;

$Ma_i^b$  – момент прибуття  $b$ -го транспортного засобу  $i$ -го маршруту;

$tw_{ij}$  – час переходу між лініями маршрутів  $i$  та  $j$ .

Перевіряється припущення, що на загальний час очікування  $t_{ij}$  за період моделювання пасажирів при пересадці у ТПВ мають вплив наступні фактори: інтервал руху транспортних засобів маршрутів МПТ, між якими здійснюється пересадка ( $I_i, I_j$ ), середнє квадратичне відхилення їх руху ( $\sigma(t_i), \sigma(t_j)$ ), та математичне очікування часу обслуговування на зупиночному пункті ( $\mu(t_{sj})$ ).

Для визначення характеру впливу вхідних факторів на вихідний параметр, необхідно проводити імітаційний експеримент. Розроблене програмне забезпечення дозволяє автоматизувати його реалізацію.

Для розробки плану експерименту потрібно визначити кількість необхідних серій дослідів на основі інтервалів варіювання обраних вхідних факторів.

Крім вхідних факторів: час відправлення транспортних засобів з початкового зупиночного пункту та час обслуговування на зупиночному пункті у дослідженні розглядаються параметри випадкових величин: середнє квадратичне відхилення часу руху до ТПВ та математичне очікування часу обслуговування на зупиночному пункті, а також експериментальні дослідження проводяться для різних інтервалів руху на маршрутах.

Межі варіювання вхідних факторів встановлюються на основі даних, отриманих за допомогою натурних обстежень, або рекомендованих значень. За результатами

експериментально - статистичного дослідження виділені межі варіювання параметрів часу руху та часу обслуговування, які необхідні для врахування впливу зовнішнього середовища у розробленій моделі, а саме: середнє квадратичне відхилення часу руху та математичне очікування часу обслуговування на зупиночному пункті.

Оскільки при середньому квадратичному відхиленні часу руху більше двох хвилин заходи із синхронізації є неефективними, то встановимо це значення як верхню межу варіювання. Визначено нижню межу варіювання середнього квадратичного відхилення, які відповідає регулярному руху 60 с. для довірчої ймовірності 0,95:  $\sigma(t_{ii}) \in [30;120]$ . Нижня межа для часу обслуговування встановлена як мінімально необхідна для виконання обов'язкових операцій. Прийнято значення, що закладається у розклад руху при його розробці, тобто 60 с. Верхня межа приймає значення 240 с., таким чином математичне очікування часу обслуговування  $\mu(ts) \in [60;240]$ .

Вплив факторів може мати нелінійний характер, тому недостатньо розглядати тільки верхню та нижню границі, отже прийнято рішення про дослідження чотирьох рівнів варіювання у межах допустимих значень. Рівні варіювання факторів в експерименті представлені у табл. 1.

Таблиця 1  
Рівні варіювання факторів в експерименті для дослідження часу очікування пасажирів при пересадці

Інтервал руху на $i$ -му та $j$ -му маршрутах, с	Середнє квадратичне відхилення часу руху $i$ -го та $j$ -го маршрутів до ТПВ, с	Математичне очікування часу обслуговування на зупиночному пункті для $j$ -го маршруту, с
420	30	60
600	60	120
900	90	180
1200	120	240

Відзначимо, що поєднання не всіх рівнів варіювання факторів забезпечує стабільне функціонування зупиночного пункту ТПВ та виконання прийнятого обмеження на значення часу очікування у черзі, що необхідно врахувати при складанні плану експерименту. У дослідженні не розглядаються певні випадки поєднання середнього квадратичного відхилення та часу обслуговування для маршруті, на який здійснюється пересадка, при

інтервалі руху 7 хв. та 10 хв. На рис. 1. кольором виділені клітинки, що знаходяться на перетині часу обслуговування та середнього квадратичного відхилення часу руху від початкового зупиночного пункту до ТПВ, поєднання яких є поза дослідженням.

Показник		Час обслуговування у ТПВ, с			
		60	120	180	240
Середнє квадратичне відхилення часу руху до ТПВ, с	30				
	60				
	90				
	120				

– значення, що не розглядалися для  $j$ -го маршруту при інтервалі 7 хв.

– значення, що не розглядалися для  $j$ -го маршруту при інтервалі 7, 10 хв.

Рис. 1. Обмеження вхідних параметрів

У якості альтернативних гіпотез про вигляд функціональних залежностей виділені наступні:

$$\begin{aligned}
 H_1 : t_{ij} &= a_1 \cdot I_i + a_2 \cdot \sigma(t_{ii}) + a_3 \cdot I_j + \\
 &+ a_4 \cdot \sigma(t_{jj}) + a_5 \cdot \mu(ts_j), \\
 H_2 : t_{ij} &= a_1 \cdot \frac{1}{I_i} + a_2 \cdot \ln \sigma(t_{ii}) + a_3 \cdot \frac{1}{I_j} + \\
 &+ a_4 \cdot \ln \sigma(t_{jj}) + a_5 \cdot \mu(ts_j), \\
 H_3 : t_{ij} &= a_1 \cdot \frac{1}{I_i} + a_2 \cdot \ln \sigma(t_{ii}) + a_3 \cdot \frac{1}{I_j} + \\
 &+ a_4 \cdot \ln \sigma(t_{jj}) + a_5 \cdot \mu(ts_j) + a_6 \cdot (I_i - I_j)^2 + a_7 \cdot \left( \frac{I_i}{I_j} \right)^2,
 \end{aligned} \quad (3)$$

де  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$  – коефіцієнти регресійних моделей часу очікування одного пасажирів у ТПВ при пересадці за період моделювання 3600 с.

Отримані результати імітаційного експерименту статистично оброблені за допомогою регресійного аналізу, який проведений із використанням функції пакета аналізу MS Excel. Гіпотези з ненульовим вільним членом попередньо проаналізовані та виключені з дослідження. Перевірено три гіпотези про вигляд функціональної

залежності часу очікування пасажирів при пересадці у ТПВ (табл. 2).

Таблиця 2

Результати перевірки гіпотез про вид регресійної моделі

Параметр и рівняння регресії	Гіпотези		
	$H_1$	$H_2$	$H_3$
$a_1$	-1,127	818660,786	658153,555
$a_2$	5,096	112,812	95,461
$a_3$	1,527	-606388,2	-452494,6
$a_4$	5,764	144,885	134,575
$a_5$	-1,596	-3,214	-3,227
$a_6$	-	-	-64,163
$a_7$	-	-	0,001
$R^2$	0,868	0,928	0,961

За критерієм детермінації обрано третю модель ( $R^2=0,961$ ). Усі фактори значимі для довірчої ймовірності 0,95. Визначено, що інтервал руху на маршруті, на який здійснюється пересадка та час обслуговування транспортних засобів мають обернений вплив на час очікування пасажирів. Крім того коефіцієнт при складовій, що відображає відношення інтервалів у квадраті, є також зі знаком «мінус».

Обрана регресійна модель витрат часу пасажирів при пересадці дозволить формалізувати вплив часу обслуговування транспортних засобів на зупиночному пункті на критерій ефективності. Відзначимо, що це твердження справедливе для ТПВ, у якому організація руху транспортних засобів та конструктивні параметри зупиночних пунктів забезпечують відсутність непродуктивних простоїв, тобто черг перед зупиночним пунктом.

Розрахунки проведено для наступних вхідних даних: 2 маршрути,  $I_i=I_j=600$  с, кількість постів обслуговування фіксована ( $L=1$ ),  $\sigma(t_{ii})=\sigma(t_{ij})=60$  с. Вартість 1 години роботи автобусу 250 грн., вартість одиниці часу очікування визначається на основі середньої заробітної плати пасажирів. Кількість пасажирів, що пересаджуються  $p=7$ ,  $p=14$ .

Залежність вартісної оцінки часових витрат пасажирів, МПТ у ТПВ від часу обслуговування представлені на рис. 2. Графік показує, що екстремум для критерію зміщується із зміною кількості пасажирів. Так, при кількості пасажирів 7, час обслуговування на зупиночному пункті, що забезпечить мінімальне значення витрат, складає

60 с, а при 14 пасажирів мінімальну значенню критерію відповідає час обслуговування 240 с.

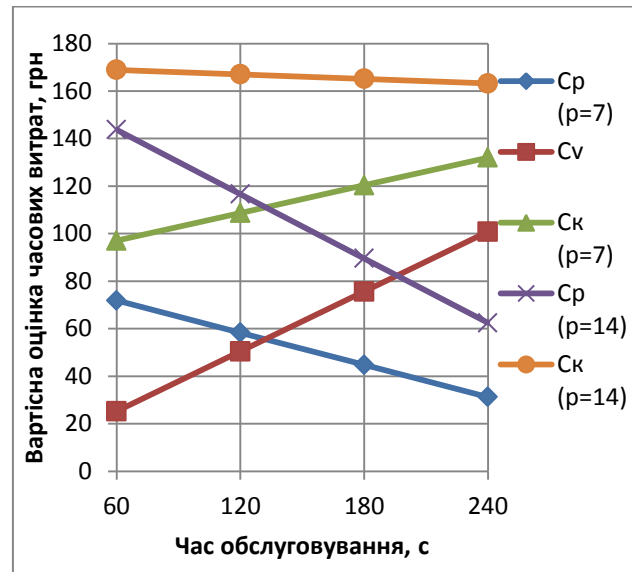


Рис. 2. Залежність вартісної оцінки часових витрат пасажирів, МПТ у ТПВ від часу обслуговування

При наявності декількох маршрутів, між якими здійснюється пересадка, для оцінки результуючих параметрів необхідно обчислити загальні витрати часу на очікування пасажирів для кожної пари маршрутів.

## Висновки

Запропонована методика дозволяє визначати параметри взаємодії МПТ у ТПВ з метою підвищення їх ефективності для задач різних типів та складності. Для комплексного вирішення проблем функціонування ТПВ передбачається виконання узгодження розкладів руху, встановлення часу обслуговування у ТПВ, обґрунтування необхідної кількості постів одночасного обслуговування транспортних засобів на зупиночному пункті. Крім того, удосконалення за окремими напрямками дає можливість вираховування специфіку кожного ТПВ.

Встановлення закономірності впливу параметрів функціонування МПТ на час очікування пасажирів при пересадці виконано на основі імітаційного експерименту, що реалізований за допомогою розробленого програмного забезпечення. За найбільшим коефіцієнтом детермінації серед розглянутих варіантів ( $R^2=0,961$ ) обрана регресійна модель, яка може бути використана з урахуванням встановлених обмежень.

Результати експериментальних досліджень дозволяють формалізувати функціональний зв'язок між критерієм ефективності і тривалістю обслуговування транспортних засобів на зупиночних пунктах у ТПВ. Раціональний час



обслуговування відповідає значенню, при якому критерій досягає свого екстремуму (мінімуму).

### Література

1. Vdovychenko, V. (2017). Analysis of the formation of fluctuations of service time of vehicles in transport-transfer stations of urban passenger transport. *Technology audit and production reserves*, (4/2(36)), 37-43.
2. Журба, О.О. Формування моделі узгодження графіку підводу рухомого складу різних видів транспорту до залізничного вокзалу [Текст] / О.О. Журба // ДонІЗТ : зб. наук. праць. – 2010. – Вип. 22. – С. 62-68.
3. Schröder, M. & Solchenbach, I. (2006) Optimization of Transfer Quality in Regional Public Transit: technical Report 84. *Fraunhofer: ITWM*, 29.
4. Cevallos, F. & Zhao, F. (2006) Minimizing transfer times in public transit network with genetic algorithm, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1971, 74-79.
5. Wu, Y., Yang, H., Tang, J. & Yud, Y. (2016) Multi-objective re-synchronizing of bus timetable: Model, complexity and solution. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 67, 149–168.
6. Lee, K.T., & Schonfeld, P.M. (1991) Optimal slack time for timed transferred at transit terminal, *J. Adv. Transp.*, 25/3, 281–308.
7. Ting, C., & Schonfeld, P. (2005) Schedule coordination in a multiple hub transit network, *Journal of Urban Planning and Development*, 131/2, 112–124.
8. Nesheli, M. M., & Ceder, A. A. (2015). Improved reliability of public transportation using real-time transfer synchronization. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 60, 525-539.
9. Wu, W., Liu, R., & Jin, W. (2016) Designing robust schedule coordination scheme for transit networks with safety control margins, *Transportation Research Part B: Methodological*, 93A, 495–519.
10. Вдовиченко, В.О. Формування математичної моделі функціонування транспортно-пересадочних вузлів міського пасажирського транспорту [Текст] / В.О. Вдовиченко, Г.О. Самчук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко - технологічні системи та комплекси. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 17 (1189). – С. 56-61.
11. Vdovychenko, V., Driuk, O., & Samchuk, G. (2017) Method of traffic optimization of urban passenger transport at transfer nodes, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 3/3 (87), 47-53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.103333>

### References

1. Vdovychenko, V. (2017). Analysis of the formation of fluctuations of service time of vehicles in transport-transfer stations of urban passenger transport. *Technology audit and production reserves*, (4/2(36)), 37-43.
2. Zhurba, O.O. (2010). Formuvannia modeli uzgodzhennia hrafiku pidvodu rukhomoho skladu riznykh vydiv transportu do zaliznychnoho vokzalu, *DonIZT: zb. nauk. prats*, 22, 62-68.
3. Schröder, M. & Solchenbach, I. (2006) Optimization of Transfer Quality in Regional Public Transit: technical Report 84. *Fraunhofer: ITWM*, 29.

4. Cevallos, F. & Zhao, F. (2006) Minimizing transfer times in public transit network with genetic algorithm, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1971, 74-79.
5. Wu, Y., Yang, H., Tang, J. & Yud, Y. (2016) Multi-objective re-synchronizing of bus timetable: Model, complexity and solution. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 67, 149–168.
6. Lee, K.T., & Schonfeld, P.M. (1991) Optimal slack time for timed transferred at transit terminal, *J. Adv. Transp.*, 25/3, 281–308.
7. Ting, C., & Schonfeld, P. (2005) Schedule coordination in a multiple hub transit network, *Journal of Urban Planning and Development*, 131/2, 112–124.
8. Nesheli, M. M., & Ceder, A. A. (2015). Improved reliability of public transportation using real-time transfer synchronization. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 60, 525-539.
9. Wu, W., Liu, R., & Jin, W. (2016) Designing robust schedule coordination scheme for transit networks with safety control margins, *Transportation Research Part B: Methodological*, 93A, 495–519.
10. Vdovychenko, V. O., & Samchuk, G. O. (2016) Development of a mathematical model of public transport interchanges functioning, *Bulletin of NTU «KhPI». Series: Mechanical-technological systems and complexes*, 17 (1189), 56–61.
11. Vdovychenko, V., Driuk, O., & Samchuk, G. (2017) Method of traffic optimization of urban passenger transport at transfer nodes, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 3/3 (87), 47-53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.103333>

**Рецензент:** д-р техн. наук, професор Є.В. Нагорний, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.

**Автор:** САМЧУК Ганна Олександрівна  
аспірант кафедри транспортних технологій,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
E-mail – [ganna.samchuk@gmail.com](mailto:ganna.samchuk@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9890-6374>

**EXPERIMENTAL GROUNDS FOR THE RATIONAL VALUES OF THE VEHICLES SERVICE TIME AT URBAN TRANSFER NODES**

G.O. Samchuk

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

*In the focus of modern research, there are tasks related to ensuring sustainable urban mobility, among which the creation of integrated passenger transport systems occupies a significant place. However, the imperfection of technical and technological forms of interaction leads to a significant waiting time for the transfer of passengers and the emergence of unproductive downtime, increasing of the presence of vehicles at transfer nodes, while increasing the environment pollution and reducing the safety performance of transport subprocesses.*

*Reduction of the passenger waiting time at a transfer node is achieved when creating a synchronized timetable of urban passenger transport vehicles, while the coordinated arrival of vehicles at stopping points avoids their bunching. In order to implement an effective transfer process, in addition to shifting the departure time to synchronize motion, an additional time is added to the schedule, which artificially extends the service time at the stopping point.*

*The article presents the approach to determining the vehicles service time at transfer nodes, which provides the minimum total cost of urban passenger transport and passengers. According to the results of the simulation experiment regression models were developed to determine the transfer waiting time of passengers.*

*The results of experimental studies can determine the functional relationship between the criterion of efficiency and the vehicles service time at stopping points at transfer points. The rational service time corresponds to the value at which the criterion reaches its extremum (minimum).*

**Keywords:** transfer node, service time, waiting time, simulation experiment, regression.